

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

半導體微型感測器於非破壞性檢測之暫態彈性波法之應用

The Application of Silicon Micro-sensors to the Transient Elastic Wave Method in the Ultrasonic NDT

計畫編號：NSC 87-2218-E-032-008

執行期限：86 年 10 月 01 日至 87 年 07 月 31 日

主持人：楊龍杰 執行機構：淡江大學機械工程學系

E-mail: ljyang@tedns.te.tku.edu.tw

† 八十六年度及以前的一般國科會專題計畫(不含產學合作研究計畫)亦可選擇適用，惟較特殊的計畫如國科會規劃案等，請先洽得國科會各學術處同意。

一、中文摘要

半導體微型力感測器，在本計畫中被用以偵測鋼珠撞擊之「時間原點」；該 6mm 直徑之撞擊鋼珠，係在混凝土結構表面激發出頻率 100kHz 以上之暫態彈性波。「時間原點」之界定。可精進手提式超音波非破壞性檢測系統之性能。相關之感測器封裝方式與撞擊訊號量測問題，也在報告中一一描述。

關鍵詞：暫態彈性波、撞擊時間、半導體微型感測器

Abstract

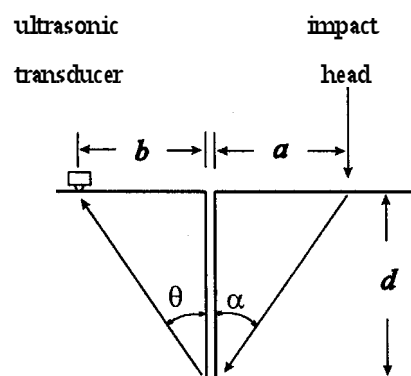
Silicon Micro sensors were used herein to identify the initiation time of an impact shock. The shock excitation caused by an impact sphere with a diameter of several mini-meters could generate transient elastic waves propagated in the civil structures. Such elastic waves with frequency above 100 kHz are the active emission sources for defect detection in the ultrasonic non-destructive testing (NDT). The piezoresistive pressure sensors were used to verify the idea. The package processes and the corresponding issues for impact detection were depicted in this report.

Keywords: Transient Elastic Wave Method, Impact Time, Silicon Micro-sensors

二、緣由與目的

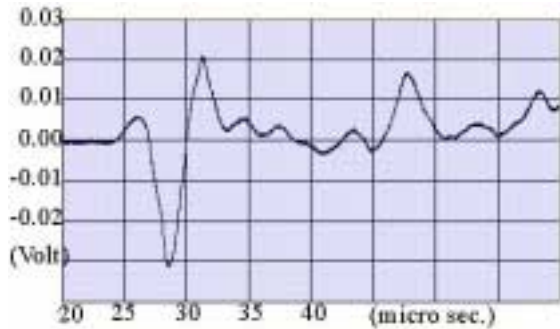
超音波法、音射法、與暫態彈性波法。是已發展應用於土木工程建設中之缺陷探測三種方法。三者均是利用彈性波在固體結構中傳播，藉由彈性波感測器之輸出波型。來判斷結構中是否有裂縫、空洞、異質邊界等標的。其中，超音波法具有高頻容易衰減、低頻解析度差的本質毛病；而音射法基本上是被動式的監測。故暫態彈性波法，是新近較被注目於混凝土表面裂縫偵測之方式。[1]

圖一是混凝土表面裂縫之偵測系統圖。其中暫態彈性波的波源，是以數 mm 直徑的鋼珠直接撞擊混凝土表面而得。一般而言，要動用兩個超音波感測器，其一量測表面波訊號，另一量測繞射波訊號，



圖一：混凝土表面裂縫之偵測系統 [2]

先藉由比對定出敲擊時間原點後，再由量測所得之波形，推算出裂縫深度，或蒐集更多頻率或相位域之訊息。[2]

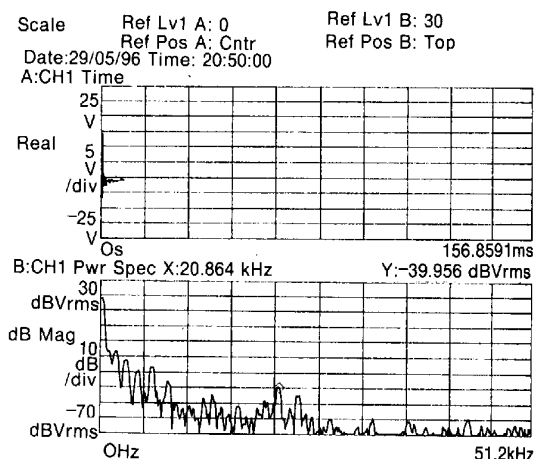


圖二：鋼珠敲擊半無限域鋼台時，鋼台上超音波感測器量到之暫態彈性波訊號。

然而，若能直接測定暫態彈性波之「時間原點」，顯然可省去兩個超音波感測器之其一，使裂縫深度之反算趨於單純，且對於手提式之混凝土檢測系統之實現，極有助益。

要量測撞擊之觸發原點，短路(Short-circuit)觸發的作法是最簡單的。不過因為受敲擊或量測之平台是混凝土並不導電，除非在混凝土表面臨時黏上金屬箔片，否則短路觸發行不通。

圖二是一鋼珠敲擊半無限域鋼台時，鋼台上超音波感測器量到之頻寬高達100kHz以上之表面波。第一波峰是縱波，第二波峰是表面波。圖三係以PCB-309-A型加速度計，黏於鋼珠實施撞擊後，所輸出之時域與頻率域訊號。圖三顯示，在頻率50kHz以下之範圍，敲擊瞬間可產生近



圖三：以PCB-309-A型加速度計，黏於鋼珠實施撞擊所輸出之時域與頻率域訊號。

2000g之加速度。

因此，如果要利用裝於鋼珠內之微型感測器量測「時間原點」，其頻寬與耐震能



圖四：應用於本計畫之SMI感測器晶片面積在1.8mm見方。

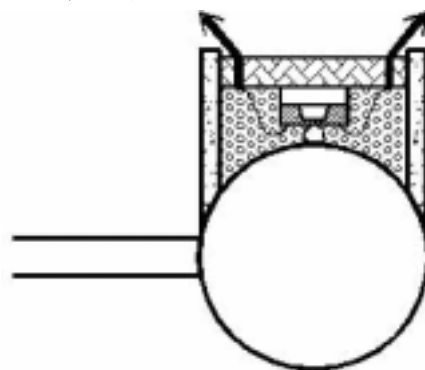
力都要夠大。

三、結果與討論

近年來，由於微機電系統技術之蓬勃興起，使得微感測器朝向小尺寸與高頻寬的高性能發展。在各類感測器中，壓阻式感測器是較主要且廣泛應用之一例，尤其在壓力與加速度之量測上，已達成熟普遍的境地。

至於應用於本計畫之感測器尺寸，因感測器晶片面積已縮小至mm範圍而固無疑問(參見圖四壓力計晶片)；但在頻寬課題上，單純之壓力計或加速度計頻寬卻難達100kHz或更高！其原因通常因為高頻機械訊號被感測器本身包裝濾除，而根本無法傳至壓電阻部位。

本計畫最終的包裝方式如圖五所示：



圖五：壓阻式力感測器最終的包裝方式。

其中壓阻式壓力計直接固定在鋼珠頂端，來降低因封裝所造成之濾波效果。封裝前，壓力計晶片必須先黏於電路板上進行打線(Wire-bonding, 線徑 1.25 mil)。打線後，再將壓力計晶片連帶電路板，倒扣在敲擊鋼珠上，並以凝固後極堅硬的樹脂膠(Epoxy)灌注在黏著部份周圍。直徑 0.5mm 的原子筆小鋼珠，置於壓力感測器與撞擊鋼珠之間，一則有墊高效果，保護打線頭端附近不會因碰撞而斷路；二則保證撞擊之彈性波可順利由 6mm 鋼珠經 0.5mm 小鋼珠，而傳到微感測器中。

封裝妥微感測器之撞擊鋼珠，高度足足比原鋼珠大一半。初步撞擊之「壓電阻(Wheatstone bridge 佈局, 1V 偏壓)輸出電壓」為 200mV, rise time 在 5 微秒以內。若進一步配合「鋼台上超音波探頭」與「鋼台與鋼珠短路觸發」訊號之同時抓取，並以「鋼台與鋼珠短路觸發」作為觸發點(因其為最初最快輸出的訊號)，則可得到圖六之三條輸出波形。由圖六，可發覺「壓電阻輸出訊號」與「鋼台與鋼珠短路觸發」訊號幾乎同時發生，並都領先「鋼台上超音波探頭」訊號 50 微秒左右。圖七是圖六在短路觸發瞬間之訊號放大圖。由「鋼台與鋼珠短路觸發」電壓值恆定的情形，可知本次敲擊有近 80 微秒鋼台與鋼珠接觸一起；當

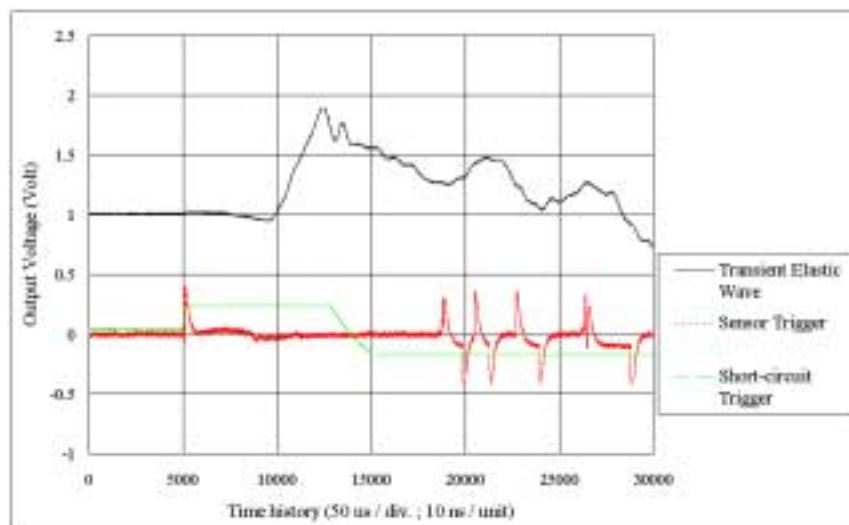
此同時，微感測器內之壓阻訊號變化卻極為複雜。

四、計畫成果自評

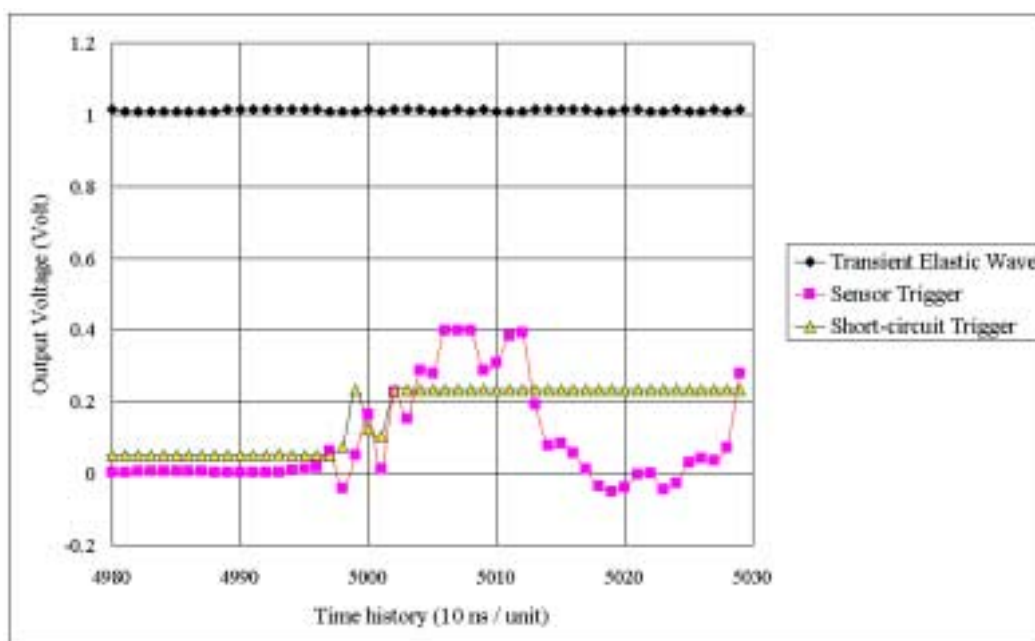
本計畫成功以壓阻式微型感測器，結合於超音波非破壞性量測系統中，偵測到鋼珠撞擊所發出之 100kHz、2000g 以上之暫態彈性波訊號，可初步定義為撞擊之時間原點，供該超音波非破壞性量測系統參考使用。雖然感測器包裝方式與原計畫有異，但基本上已完成計畫預期目標。本研究結果已獲 1998 年 IEDMS 學術研討會接受發表[3]，並將進一步與臺灣大學應用力學所 NDT 研究群合作，繼續探索撞擊時間原點訊號之內涵，與其應用之範圍。

五、參考文獻

- [1] F. R. Breckenrige, T. M. Protor, N. N. Hsu, S. E. Fick, and D. G. Eitzen, "Transient source for acoustic emission work", *Progress in Acoustic Emission*, 5, The Japanese Society for NDT, (1990), pp.20-37.
- [2] T.-T. Wu, J.-S. Fang, and P.-L. Liu, "Detection of the depth of a surface-breaking crack using transient elastic wave", *Journal of Acoustic Society in America*, 97, n3, (1995), pp.1678-1686.
- [3] L.-J. Yang and C.-J. Chang, "Micro force sensors using to identify the initiation time of an impact excitation in ultrasonic NDT", *Proceeding of the International Electron Devices and Material*



圖六：「鋼台上超音波探頭」(Transient Elastic Wave)、「鋼珠上微感測器之訊號輸出」(Sensor Trigger)與「鋼台與鋼珠短路觸發訊號」(Short-circuit Trigger)之同時抓取，並以「鋼台與鋼珠短路觸發」作為觸發點(因其為最初最快輸出的訊號)。



圖七：圖六在短路觸發瞬間之訊號放大圖。